

Геофизика

УДК 550.83:519.241

К МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ АНИЗОТРОПИИ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Г.В. Ерофеева, Л.Я. Ерофеев

Томский политехнический университет

E-mail: geof@tpu.ru

Анализируются возможности процедур оценки анизотропии физических полей, изучаемых в разведочной геофизике. Предлагается новая методика определения анизотропии поля для аномалий второго и более мелкого порядков, на конкретном примере магнитного поля показывается ее эффективность.

Ключевые слова:

Магнитное поле, анизотропия, методика оценки анизотропии поля, природа анизотропии магнитного поля.

Key words:

Magnetic field, anisotropy, method of estimating the anisotropy of the field, nature of the anisotropy of the magnetic field.

При интерпретации материалов геофизических съёмок иногда используется как самостоятельный признак анизотропия поля, который позволяет судить о ряде особенностей геологического строения обследуемых площадей [1–7].

Количественная оценка анизотропии поля в разведочной геофизике проводится двумя способами. В одном случае по массиву цифр наблюдаемого параметра поля вычисляется двойная автокорреляционная функция (ДАКФ), в другом — определяются углы направления линий равных значений поля заданных уровней (определяется полярная диаграмма — ПД).

Полученные ПД или ДАКФ дают оценку анизотропии в интегральной форме. В них отражается характер изменений параметра поля по разным направлениям различных порядков. Вклад возмущений поля каждого порядка в общую совокупность (ПД, ДАКФ) является неаддитивным, поскольку процедуры определения ПД и ДАКФ являются селектирующими преобразованиями.

Фильтрующие свойства этих преобразований различны и сводятся к следующему. ДАКФ представляет собой трансформацию поля, состоящую из суммы изменений с теми же частотами, что и исходное, но с измененными амплитудами колебаний — амплитуда каждой последующей гармоники, в сторону роста частоты, резко уменьшается.

Действительно, допуская, что функция некоторого параметра поля является четкой функцией, её можно представить рядом:

$$F(x) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos \omega_k x$$

или

$$F(x) = A_1 \left(\cos \omega_1 x + \sum_{k=2}^{\infty} A_k \cos \omega_k x \right),$$

где A_k — отношение всех амплитуд к наибольшей.

Корреляционная функция $F_{(x)}$ этого поля представляется таким выражением:

$$F^1(x) = \frac{A_1^2}{2} A_1 \left(\cos \omega_1 + \sum_{k=2}^{\infty} A_k^2 \cos \omega_k x \right),$$

из которого видно, что вклад всех гармоник с амплитудами, меньшими A_1 , в преобразованном поле с ростом частоты падает.

Получение ПД предусматривает выполнение двух основных операций: вычисление координат точек изолиний и взятие отчёта азимута изолиний. Эти операции по своему селектирующему воздействию не одинаковы. При проведении (вычислении координаты по заданным сечениям) изолиний в качестве независимой переменной выступает функция, а при определении азимута — аргумент.

В первой операции происходит амплитудная селекция, во второй – частотная.

В процедуре проведения изолиний вклад различных возмущений в ПД составляет величину, в первом приближении прямо пропорциональную амплитуде аномалии. Другими словами, разноамплитудные возмущения в ПД представляются различным числом n_a изолиний (сечений), которое, в случае нормального распределения амплитуды параметра поля, определится следующей зависимостью [8]:

$$n_a = \frac{\delta_v}{2\pi\delta_x} \exp\left[-\frac{(a-\bar{x})^2}{2\delta_x^2}\right], \quad (*)$$

где a – уровень изолинии (сечения), δ_x – среднее квадратическое отклонение $F(x)$, \bar{x} – математическое ожидание, δ_v – среднее квадратическое отклонение первой производной.

Отсчёты азимута направления линий равных значений поля берутся в равноотстоящих (по изолинии) друг от друга точках, т. е. непрерывная функция заменяется рядом значений. При этом колебания направления изолиний с периодом, близким или меньшим интервала дискретизации, понятно, не фиксируются в ПД, вклад других, более крупных по площади аномалий, с ростом площади возмущений возрастает.

Символами эту процедуру можно записать так:

$$F(x) = \Delta x \sum_{k=-\infty}^{\infty} F(k\Delta x) \delta(x - k\Delta x) = \Delta x F(x) U_{\Delta x}(x),$$

где Δx – интервал дискретизации функции $F(x)$, $\delta(x - k\Delta x)$ – дельта-функция Дирака, а

$$U_{\Delta x}(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(x - k\Delta x).$$

Эта функция является периодической с периодом Δx . Её можно разложить в ряд:

$$U_{\Delta x}(x) = \frac{1}{\Delta x} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp(in \cdot \frac{2\pi}{\Delta x} x),$$

в силу этого

$$F_{\Delta x}(x) = F(x) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp(in \cdot \frac{2\pi}{\Delta x} x).$$

Взяв преобразование Фурье от обеих частей этого равенства и используя теорему смещения в области комплексного переменного, получим следующее выражение для спектра дискретной функции [9]:

$$D_{\Delta x}(i\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} D(i\omega - i \frac{2\pi}{\Delta x} n),$$

т. е. спектр функции $F_{\Delta x}(x)$ получается суммированием смещенных спектров непрерывной функции $F(x)$. Смещение определяется величиной Δx . Чем меньше эта величина, тем дальше отстоят смещенные спектры и, стало быть, меньший диапазон их перекрывается.

Итак, применяемые в настоящее время оценки анизотропии физических полей, произведенные непосредственно по результатам наблюдаемых значений поля, позволяют определять «неизомерность» значительных по площади аномалий, которые, как правило, являются и доминирующими по амплитуде. Такие возмущения несут информацию о наиболее крупных геологических неоднородностях, изучение которых с помощью геофизических методов обычно не требует особых способов анализа, основные черты доминирующих возмущений, в том числе и их неизомерность, легко выявляются при визуальном изучении планов изолиний наблюдаемых полей.

На практике чаще всего необходимо уделять больше внимания аномалиям второго и более мелкого порядка. Их анизотропия по-разному проявляется в ДАКФ и ПД.

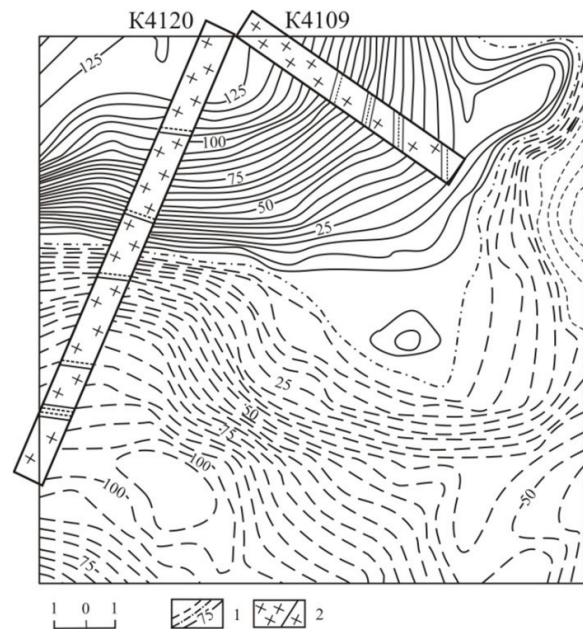


Рис. 1. Магнитное поле и развитие трещиноватости в гранодиоритах на пл. № 25 Центрального массива: 1) изолинии индукции в нТл; 2) гранодиориты с трещинами по полотну канав

Для определения возможностей оценки среднего – высокочастотного диапазона анизотропии способом построения ПД и ДАКФ были использованы материалы магнитной съемки на 117 площадках, расположенных в пределах Центрального золоторудного месторождения Кузнецкого Алатау (размер 20×20 м, сеть наблюдения 2×2 м, точность измерений 1 нТл).

Для примера поле одной из площадок в виде изолиний показано на рис. 1. Вычисление ДАКФ производилось по методике [10], с предварительным направленным суммированием значений приращений индукции по трем и пяти соседним профилям и вычитания суммарного среднего графика из исходных рядовых. Направление суммирования второго порядка было принято 30° (СВ направление, отчетливо

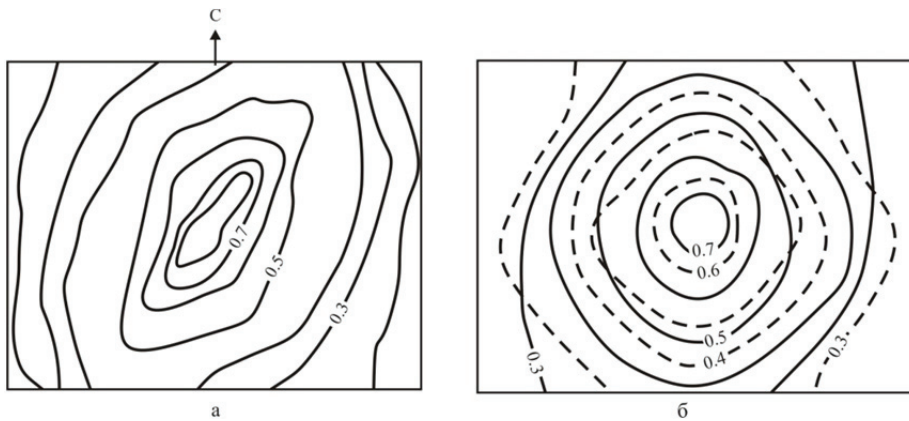


Рис. 2. Двухмерные автокорреляционные функции магнитного поля первого (а), второго и третьего (пунктир) (б) порядков

проявляющееся на ДАКФ первого порядка, рис. 2, а). Все ДАКФ высоких порядков (2, 3 и 4-го) оказались изомерными. ДАКФ второго и третьего порядков, для примера, изображена на рис. 2, б).

Анализ анизотропии поля путём построения ПД произведён по схеме, при которой осуществлялась амплитудная фильтрация. Сущность используемого преобразования заключается в следующем.

По результатам определения азимута простирания равных значений приращений индукции (изолиний) строятся частные диаграммы для групп соседних изолиний, включающих каждая по несколько изолиний. Число их в группе, также как и число групп, определяется степенью «сложности» поля и, как показывает практика применения предлагаемого способа, составляет 3–6. Построение ПД целесообразно осуществлять в такой последовательности. В начале строится общая диаграмма для 3 или 5 изолиний, среди которых средней изолинией является нулевая изолиния, которая должна соответствовать значению параметра поля, близкому к значению его математического ожидания. Диаграммы третьего и последующих уровней строятся по 4 или 6 (четному числу) изолиниям, одна половина которых берется из отрицательной, другая — из положительных областей изменения параметра.

Нетрудно видеть, что эти диаграммы отражают простирание различных совокупностей аномалий. Диаграмма первого уровня, согласно зависимости (*), характеризует простирание наибольшей части возмущений поля, второго уровня — главным образом тех аномалий, амплитуды которых больше этого уровня, третьего уровня и т. д.

Такая приближенная оценка анизотропии даёт возможность определить наличие и выявить преимущественные направления в простирании линейно-вытянутых элементов геологического строения обследуемых площадей, создающих аномалии высоких порядков.

На рис. 3 приведены полярные диаграммы направленности изолиний приращений вертикальной составляющей амплитуды индукции магнитного поля выше упомянутых 117 площадок съёмки. ПД (рис. 3, а) построена по всем изолиниям (сечение 5 нТл), т. е. она общая, отражает направленность всех изодинам, но в разной степени, диаграмма рис. 3, б — пяти изолиний: +10; +5; 0; -5; -10, следующие — шести: +15; +20; +25; -15; -20; -25 и т. д.

По диаграммам рис. 3, б, в, можно видеть, во-первых, что в магнитном поле присутствует две малоамплитудных, но многочисленных группы соиз-

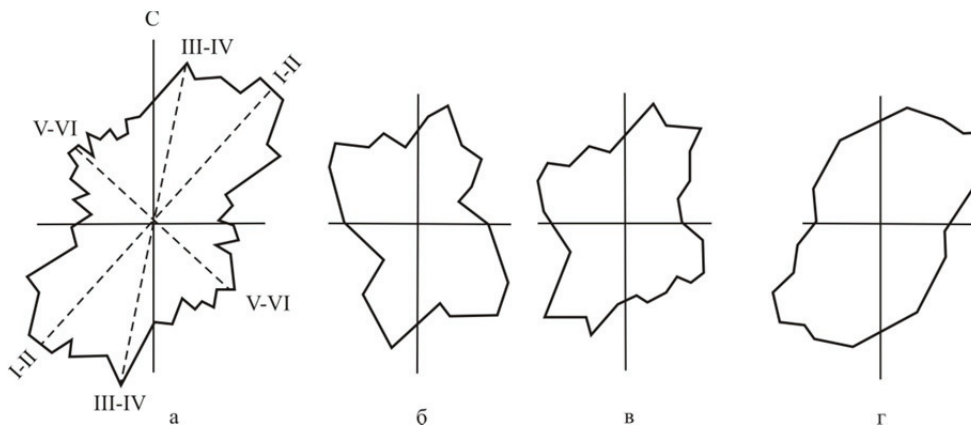


Рис. 3. Общая (а) и частные (б–г) полярные диаграммы направленности изолиний магнитного поля I–II и далее (пунктир) — направления систем трещиноватости и их номера Центрального диоритового массива

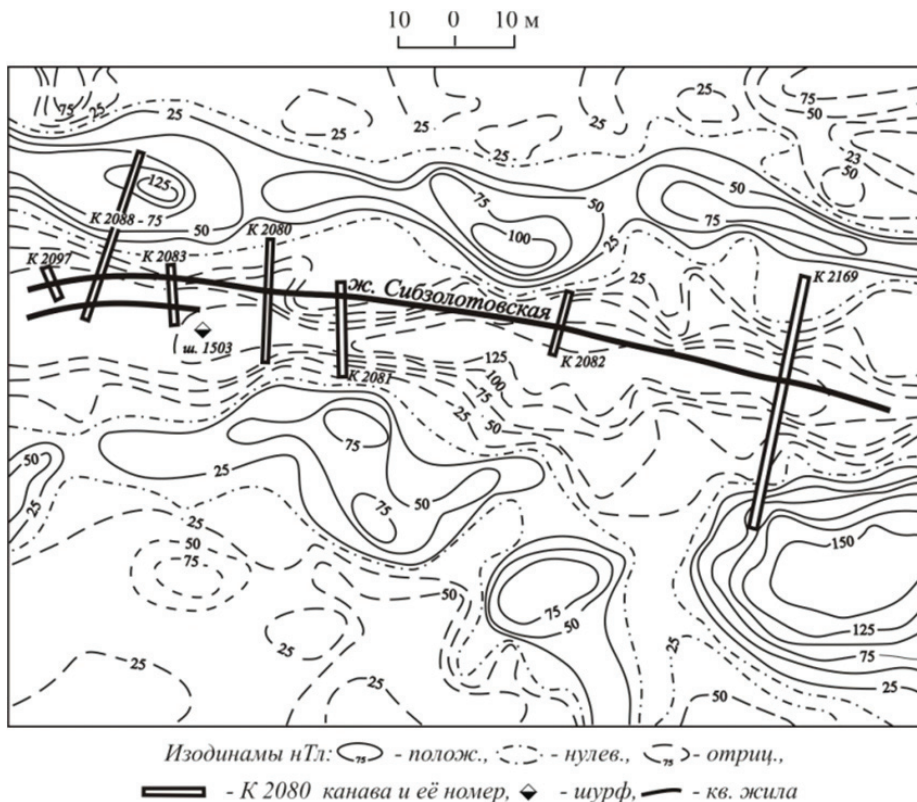


Рис. 4. Магнитное поле над золоторудной жилой Центрального месторождения

меримых и существенно неизомерных аномалий, оси которых в большинстве своём простираются в северо-западном и северо-восточном направлениях и, во-вторых, что возмущения северо-западного направления имеют в среднем меньшую амплитуду по сравнению с северо-восточным, которое отражает простираение наиболее интенсивных по амплитуде аномалий рудных жил.

Из диаграммы рис. 3, г, следует, что изолинии, значения которых превышают $\pm(25...30)$ нТл, принадлежат главным образом к наиболее крупным по амплитуде и площади неизомерным аномалиям северо-восточного направления. Именно эти возмущения определяют в целом общую форму ПД и ДАКФ. Доминирующие аномалии обусловлены, главным образом, чередованием участков слабомагнитных (лейкократовые разности) пород с повышенно магнитными (меланократовые разности) участками пород эллипсовидной формы, ориентированных большей осью параллельно контактовой зоне массива с вулканическими образованиями основного и среднего составов.

Центральное месторождение золота Кузнецкого Алатау эксплуатировалось более 100 лет. Значительная часть его рудного поля детально изучена: составлена подробная геологическая карта масштаба 1:5000, определено его тектоническое строение, вплоть до закономерностей развития элементов прототектоники в гранитоидном массиве, вмещающем рудные тела кварцево-жильного типа [11, 12].

На общей диаграмме направленности изодинами (рис. 3, а) показаны доминирующие направле-

ния линейно вытянутых неоднородностей: рудных жил, даек, «незалеченных» разрывных нарушений различного порядка. Все эти элементы в магнитном поле сопровождаются весьма неизомерными в плане аномальными зонами, обуславливающими анизотропность поля. Наиболее интенсивные аномалии создают рудные тела СВ простираения, совпадающие с простираением наиболее развитых I–II систем трещиноватости, рис. 3, а. Для примера на рис. 4 показано магнитное поле над одной из таких жил – «Сибзлотовской».

Сопоставляя геологические данные с анизотропией магнитного поля массива, можно видеть, что этот признак поля, определяемый по диаграммам ПД, весьма информативен.

Выводы

Процедуры оценки анизотропии физических полей с использованием двойной автокорреляционной функции и полярных диаграмм существенно различаются: в первом случае проявляется неизомерность наиболее крупных по площади и интенсивности аномалий, анизотропия возмущений второго и более мелкого порядка практически не фиксируется, во втором случае направленности изодинам находят заметное отображение, их анизотропию можно оценивать и представлять в «чистом» виде, что позволяет судить о геологическом строении обследуемых площадей, их тектонических структурах и связанных с ними геологических образованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитин А.А., Петров А.В. Основные процедуры обработки и интерпретации нестационарных геофизических полей // Геофизика. – 2007. – № 3. – С. 63–70.
2. Барышев А.С. Статистический анализ направлений изолиний гравитационного и магнитного полей // Сб. науч. тр.: Состояние и перспективы развития геофизических работ в Восточной Сибири / под ред. Г.С. Вахромеева. – Иркутск: Иркутский политехнический университет, 1993. – С. 11–14.
3. Дашевская Е.А., Стевас Г.М. Статистический анализ и взаимосвязь магнитного поля и простираения пород на Украинском щите // Геология и разведка. – 1974. – № 3. – С. 135–138.
4. Horton C.W., Hemphkins W.B., Hoffman A.A. A statistical analysis of some aeromagnetic maps from the northwestern Canadian Shield // Geophysical. – 1964. – V. 29. – P. 4–8.
5. Брусиловский Н.В. и др. Магнитное поле и генезис хребта Сакура, Курильская котловина // Геофизика. – 2008. – № 6. – С. 60–70.
6. Елисеев И.С. Интерпретация гравиметрических материалов с использованием угла вектора полного нормированного градиента при изучении верхней мантии // Геофизика. – 2008. – № 5. – С. 3–7.
7. Федюк В.И. Микромагнитная съемка и ее геологические возможности. – М.: Гостоптехиздат, 1968. – 64 с.
8. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. – М.: Наука, 1968. – 463 с.
9. Солодовников В.В. Статистическая динамика линейных систем автоматического управления. – М.: Физматгиз, 1960. – 652 с.
10. Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации. – М.: Недра, 1986. – 342 с.
11. Алабин Л.В. Центральный массив Мартайгинского гранитоидного комплекса (Кузнецкий Алатау) // В кн.: Магматические формации Сибири и Дальнего Востока / под ред. Ю.А. Кузнецова. – М.: Наука, 1971. – С. 169–213.
12. Баженов В.И., Митюшин А.М. Основные черты структуры Центрального золоторудного месторождения (Марининская тайга) // В кн.: Геология золоторудных месторождений Сибири / под ред. Ф.Н. Шахова. – Новосибирск: Наука, 1970. – С. 79–87.

Поступила 24.05.2011 г.

УДК 550.83:551.3

ДИСКРЕТНЫЕ ИЕРАРХИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В ГЕОФИЗИКЕ

В.Н. Устинова, И.Г. Устинова

Томский политехнический университет

E-mail: ustinovavn@tpu.ru

Дискретизация, иерархическая вложенность и наличие типовых форм геологических объектов и геофизических полей позволили выполнить их ранжирование, разработать вероятностно-статистические методы анализа подобных систем и разделения полей. Установлено наличие типовых форм для сейсмических структур; отражённых сейсмических сигналов; в морфологическом проявлении сейсмофаций, вмещающих залежи углеводородов; в пространственном сочетании структурообразующих трещин. Типизация форм структур, морфологических форм геофизических аномалий, сейсмического сигнала с привлечением автокорреляционного анализа нашла применение в процедурах восстановления сейсмического сигнала и структурных построениях, при формировании эффективных графов обработки и интерпретации данных сейсморазведки.

Ключевые слова:

Сейсмоморфоструктурные карты; типы морфоформ структур, модели сейсмических сигналов; регулярная сеть тектонических трещин; вероятностно-статистическая типизация.

Key words:

Seismic morphological maps, types of morphological forms for structures, model forms of seismic signals, regular network of tectonic fractures, probabilistic statistical typing.

Упорядоченность и иерархическая соподчинённость элементов геологических структур и геофизических полей обращает на себя внимание многих исследователей. Структура вложенности, иерархизации, соподчинения элементов структур имеет некоторые черты подобия [1]. Подобие в форме и иерархической структуре объектов позволяет формализовать процесс типизации соподчинённых составляющих, создать классы моделей геолого-геофизического строения нефтегазоносных месторождений и ловушек нефти и газа. Авторы статьи работают в направлении формализации подходов и разработки алгоритмов распознавания форм структур, типизации форм сейсмических сигналов с целью повышения качества прослеживания сейсмических отражений, структуропостроения, выявления

участков высокoёмких коллекторов и зон максимального нефтегазонакопления на месторождениях нефти и газа Западно-Сибирской плиты (ЗСП). Дискретизация, вложенность и наличие типовых форм в структуре вещества позволяют разработать математические модели нефтегазовых объектов, где для формализации используются закономерности подразделения вещества, формы вложенности структурных фрагментов, их сочетания и последовательности взаимного дополнения. Наличие подобия и вложенности является основой для разработки математических методов их анализа и выделения факторов, благоприятствующих нефтегазонакоплению, позволяет разработать новые критерии локализации нефтегазоперспективных объектов и зон высокoёмких коллекторов.